Physique atomique et nucléaire

Rayons X

Spectroscopie d'énergie de rayons X

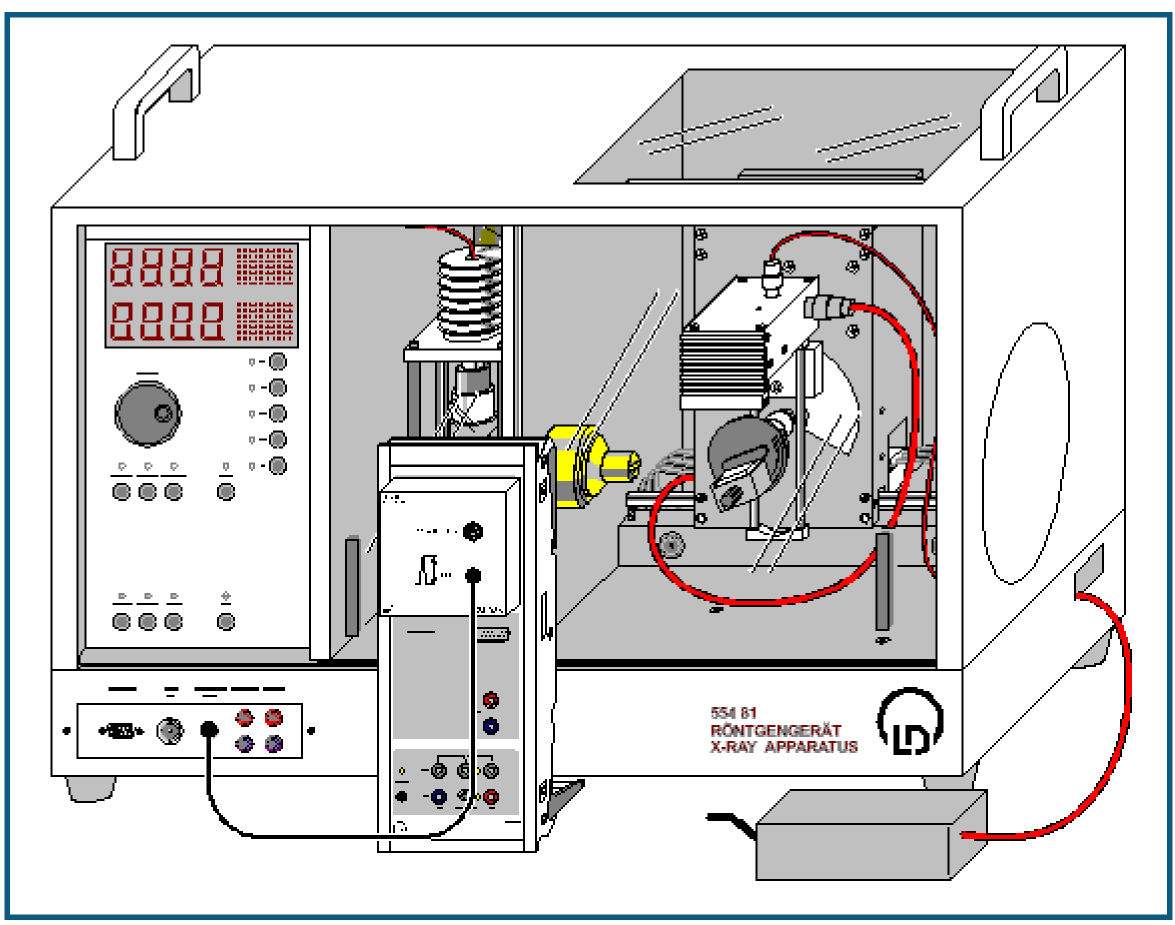
Etude de spectres caractéristiques en fonction du numéro atomique de l'élément : Les couches K

Description tirée de CASSY Lab 2

Pour charger des exemples et des paramétrages, merci de bien vouloir utiliser l'aide de CASSY Lab 2.



Loi de Moseley (fluorescence X à raies K)



Convient aussi pour Pocket-CASSY

Remarques de sécurité

L'appareil à rayons X est conforme, de par sa conception et construction, à un dispositif à rayons X destiné à l'enseignement et à un appareil de protection intégrale répondant aux réglementations sur les rayons X. Il est homologué comme appareil à rayons X à l'usage des établissements scolaires et comme appareil de protection intégrale conformément au règlement allemand sur la radioprotection (BfS 05/07 V/Sch RöV ou NW 807 / 97 Rö).

Grâce aux dispositifs de protection et de blindage intégrés en usine, le taux de dose hors de l'appareil à rayons X est réduit à moins de 1 µSv/h, soit une valeur d'un ordre de grandeur correspondant à la dose d'irradiation naturelle.

- Vérifier le bon état de l'appareil à rayons X avant de le mettre en marche et contrôler la coupure de la haute tension à l'ouverture des portes coulissantes (voir mode d'emploi de l'appareil à rayons X).
- Tenir l'appareil à rayons X à l'abri des personnes non autorisées.

Eviter toute surchauffe de l'anode dans le tube à rayons X Mo.

- A la mise en marche de l'appareil à rayons X, vérifier le bon fonctionnement du ventilateur dans la partie tube.

Le goniomètre est exclusivement réglé par le biais de moteurs pas à pas électriques.

- Ne pas bloquer le bras de cible ni le bras de capteur du goniomètre et ne pas forcer pour en modifier le réglage.

Lors de l'utilisation de métaux lourds ou d'allergènes issus des jeux de cibles, respecter le mode d'emploi correspondant.

Description de l'expérience

La fluorescence X survient lorsque des électrons sont éjectés de la couche interne, proche du noyau d'un atome. L'atome ainsi ionisé présente alors une vacance (trou d'électron) dans une sous-couche préalablement close. Ces trous laissés peuvent être comblés par des électrons issus d'autres couches plus périphériques : la couche K peut par ex. être complétée par la transition d'un électron de la couche L. Une telle transition provoque l'émission d'un

photon. Ce rayonnement présente seulement certaines énergies photoniques discrètes qui correspondent aux différences d'énergie des niveaux concernés. Il est caractéristique pour chaque élément chimique.

Les désignations des raies caractéristiques des rayons X sont constituées du symbole de la couche atomique (K, L, M etc.) et d'une lettre grecque (α, β, γ, etc.), la couche atomique considérée étant celle qui était ionisée avant le transfert électronique. C'est ainsi que la désignation raie K_α représente la transition de la couche L vers la couche K, raie K_β la transition de la couche M vers la couche K. Les raies L_α et L_β désignent les transitions de la couche M et N vers la couche L.

Pour les énergies E des raies caractéristiques, Moseley énonça en 1913 la loi

$$\sqrt{\frac{E}{Ry}} = (Z-\sigma)\sqrt{\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}}$$

avec le numéro atomique Z, la constante de blindage σ, la constante $Ry = m_e e^4/8\varepsilon_0^2 h^2$ = 13,6 eV et les nombres quantiques principaux n_1 et n_2 des couches atomiques concernées ($n_1 < n_2$).

Dans la présente expérience, il s'agit de déterminer les énergies des raies caractéristiques K_α et K_β pour Ti, Fe, Ni, Cu, Zn, Zr, Mo et Ag, de vérifier la loi de Moseley et de déterminer les constantes de blindage σ_α et σ_β.

Matériel requis

1	Sensor-CASSY	524 010 ou 524 013
1	CASSY Lab 2	524 220
1	adaptateur AMC	524 058
1	appareil à rayons X avec tube à rayons X Mo	554 801 ou 554 811
1	jeu de cibles Raies de fluorescence K	554 844
1	détecteur d'énergie de rayonnement X	559 938
1	câble HF, 1 m	501 02
1	PC avec Windows XP/Vista/7/8	

Montage expérimental (voir schéma)

- Faire passer le câble de raccordement de l'alimentation portable à travers le canal vide de l'appareil à rayons X et le brancher à la douille Mini DIN du détecteur d'énergie de rayonnement X.
- Fixer le porte-capteur avec le détecteur d'énergie de rayonnement X monté au bras de capteur du goniomètre.
- Connecter la sortie du signal du détecteur d'énergie de rayonnement X à la douille BNC SIGNAL IN de l'appareil à rayons X à l'aide du câble BNC fourni.
- Faire en sorte que le câble de raccordement soit inséré sur une longueur suffisante pour permettre le pivotement complet du bras de capteur.
- Enfoncer le bouton-poussoir SENSOR et régler manuellement l'angle du capteur sur 90° à l'aide du bouton de réglage ADJUST.
- Régler respectivement sur 5 à 6 cm la distance entre la fente du collimateur et l'axe de rotation ainsi que celle entre l'axe de rotation et la fenêtre d'entrée du détecteur d'énergie de rayonnement X.
- Appuyer sur le bouton-poussoir TARGET et régler manuellement l'angle de la cible sur 45° à l'aide du bouton de réglage ADJUST.
- Brancher le Sensor-CASSY à l'ordinateur et enficher l'adaptateur AMC.
- Utiliser le câble BNC pour relier la sortie SIGNAL OUT de la zone de connexion de l'appareil à rayons X à l'adaptateur AMC.

Procédure expérimentale

- Charger les paramétrages
- Brancher l'alimentation portable au réseau (le témoin lumineux passe au « vert » au bout d'env. 2 min et le détecteur d'énergie de rayonnement X est opérationnel).
- Placer la première cible (Ti) du jeu de cibles Raies de fluorescence K sur le support pour cible
- Régler une haute tension du tube U = 35 kV, un courant d'émission I = 1,00 mA et brancher la haute tension.
- Lancer le relevé du spectre avec .
- Pour finir, relever les spectres pour l'autres cibles (Fe, Ni, Cu, Zn, Zr, Mo et Ag) du jeu de cibles Raies de fluorescence K.

Étalonnage énergétique

L'étalonnage énergétique des spectres est réalisé sur les raies K_α du fer (Fe) et du molybdène (Mo).

- Ouvrir l'Étalonnage énergétique dans les paramétrages EA, sélectionner **Étalonnage énergétique global à cette entrée** puis inscrire à droite les énergies de la raie K_α du Fe (6,40 keV) et de la raie K_α du Mo (17,48 keV).

- Dans le menu contextuel du graphe, sélectionner Calcul valeur principale du pic, marquer la raie K_α du Fe (2ème spectre) et inscrire le résultat à gauche dans l'Étalonnage énergétique (par ex. en le transférant de la ligne d'état par glisser-déposer).
- Pour finir, déterminer le centre de gravité de la raie K_α du Mo (7ème spectre) et également l'inscrire à gauche.
- Faire passer la représentation sur Énergie (par ex. par glisser-déposer de E_A vers le graphe)

Exploitation

Plus le numéro atomique Z est grand, plus l'énergie des raies caractéristiques augmente ainsi que la dissociation entre les composantes α et β de la série spectrale K. Pour une analyse quantitative, il est possible de déterminer les énergies de chacune des raies :

- Sélectionner le spectre dans le graphe.
- Sélectionner Placer une marque → Ligne verticale dans le menu contextuel du graphe (touche droite de la souris) pour placer deux lignes verticales à peu près au niveau des raies K_α et K_β.
- Dans le menu contextuel du graphe, sélectionner Fonction de modélisation → Courbes de Gauss de même largeur et marquer le domaine des pics souhaités (marquer une surface suffisamment grande !).
- Relever les positions déterminées pour les pics dans la ligne d'état et les inscrire avec le numéro atomique Z du Ti (Z=22), du Fe (Z=26), du Ni (Z=28), du Cu (Z=29), du Zn (Z=30), du Zr (Z=40), du Mo (Z=42) et de l'Ag (Z=47) dans la représentation **Energie** (cliquer avec la souris) (par ex. en les transférant de la ligne d'état par glisser-déposer).

L'expression $\sqrt{E/Ry}$ est automatiquement calculée pour chaque raie et représentée dans la représentation **Moseley** en fonction du numéro atomique Z. C'est la même chose pour les constantes de blindage σ_α et σ_β et la représentation **Blindage**.

Dans la représentation **Moseley**, il est possible de tracer la droite théorique pour les raies K_α qui coïncide bien avec les valeurs mesurées en procédant à une modélisation libre avec la formule (x-1)*sqr(3/4).

La représentation **Blindage** montre pour les raies K_α que l'écart de la constante σ_α=1 théoriquement attendue augmente au fur et à mesure que le numéro atomique Z augmente. Ceci s'explique par le fait que l'influence des électrons externes augmente au fur et à mesure que le nombre d'électrons augmente.

Les constantes de blindage σ_β pour les raies K_β ont des valeurs numériques $\sigma_\beta \approx 2$ ce qui, comme escompté, témoigne d'un plus grand blindage effectif de la charge nucléaire pour les transitions électroniques du niveau supérieur n_2=3.

